

基于 RGB 色彩空间的彩色图像混合编码

陈宇拓¹ 韩旭里¹ 余英林²

(中南大学信息科学与工程学院 长沙 410083)¹ (华南理工大学电子与通信工程系 广州 510641)²

摘要 在 RGB 色彩空间,利用彩色图像 3 个色彩分量之间存在的密切的相关性,建立它们之间的多项式相关函数。选择其中一个色彩分量用 JPEG2000 进行编码,依据该色彩分量与另两个色彩分量的差值分布均匀程度,用四叉树算法将图像分割成若干个不重叠的子块,用多项式相关函数计算出每个子块色彩分量之间的相关系数,由此对另两个色彩分量的编码就转变成对相关系数的编码。解码则是通过 JPEG2000 的逆变换得到一个重构的色彩分量,再由这个重构的色彩分量和重构的相关系数解得另两个色彩分量。实验结果表明,该方法不仅编解码速度快,而且信噪比、压缩比及视觉效果明显优于 JPEG2000 等算法的编码结果。

关键词 不平滑度,不相关度,相关系数,多项式相关函数

Color Image Hybrid Coding Based on RGB Color Space

CHEN Yu-Tuo¹ HAN Xu-Li¹ YU Ying-Lin²

(School of Information Science & Engineering, Central South University, Changsha 410083)¹

(Dept. of Electronic & Communication Engineering, South China Univ. of Tech., Guangzhou 510641)²

Abstract In RGB color space, the polynomial correlation functions are established between three color components using the close correlation certainly exist between three color components. One of the three color components is coded using JPEG2000 coding, and the image is segmented into multi-subregions with non-overlapping by quadtree partitioning according to its degree of homogeneous distribution of chromatism of that the component with other two components. Based on the calculated correlation coefficients by the polynomial correlation functions in every subregion, the coding for the other two components becomes the coding of correlation coefficients. During decoding, the component is reconstructed using the inverse transform of JPEG2000. Then according to this reconstructed component and the reconstructed correlation coefficients, the other two components are calculated out. Experiment results show that this method is of high coding and decoding rates, and its signal to noise ratio, compression rate and visual quality are better than those of JPEG2000.

Keywords Non smoothness degree, Non-correlation degree, Correlate coefficient, Polynomial correlation function

1 引言

在已有彩色图像编码的研究文献[1~6]中,几乎都是采用将 RGB 原色彩空间转换成 YUV、YIQ 或 YCbCr 色彩空间,然后在这些色彩空间,依据对三个色彩分量重要程度的经验判断分别进行单独编码,并没有去挖掘 RGB 彩空间三个色彩分量之间存在的更深层的关系。



图 1 色彩分量按不同组合所生成的图像

实质上,彩色图像 RGB 三个色彩分量之间的确存在密切的相关性。我们通过实验发现,当用 RGB 图像的任意一个色彩分量代替另一个色彩分量再显示图像时,图像仍然清晰并没有产生模糊性失真,只是色彩发生了偏移变化。图 1 表示的是 Lena 图像的各色彩分量按不同组合所生成的图像。这就为我们揭示了各个色彩分量像素值在图像每个区域的变化是同步的,也就是说彩色图像某个区域色彩随位移变化时,其 R、G、B 的像素灰度值也会同时随位移变化。从图 2 人的眼睛区域可以看得出来,其 3 个色彩分量的像素灰度值都会随着眼袋、眼圈、眼白、眼球位置顺序同步变化。一幅彩色图像在 RGB 色彩空间,三个色彩分量除像素值大小不同外,它们的

纹理、边缘和灰度变化梯度都具有非常好的相似性和一致性(见图 2)。

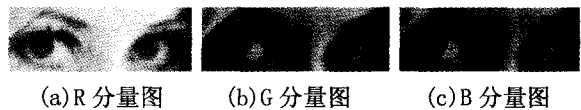


图 2 Lena 眼部各色彩分量图像

我们在实验中发现,在图像某个色彩分布均匀的区域,各色彩分量的像素值分布也是均匀的。当把一幅图像分割成若干个被认为是色彩分布均匀、色彩分量之间相关性较强的子块区域后,我们可以用文[9,10]提出的展开多项式函数,建立起子块区域内选定一个色彩分量与另两个色彩分量之间的逼近关系函数:

$$\begin{cases} A_{R1} = r_k A_G^k + r_{k-1} A_G^{k-1} + \dots + r_1 A_G + r_0 \\ A_{B1} = b_k A_G^k + b_{k-1} A_G^{k-1} + \dots + b_1 A_G + b_0 \end{cases} \quad (1)$$

式中 A_G 是选定的 G 色彩分量, k 是展开多项式的次数, A_{R1}, A_{B1} 是由展开多项式得到的另两个色彩分量之间。 r_k, b_k 是展开多项式的系数,假设另两个原色彩分量 R、G 分别用 A_R 和 A_B 来表示,这里我们称 r_k, b_k 分别为 A_G 与 A_B 之间的相关系数。当 A_R 与 A_{R1} 及 A_B 与 A_{B1} 的均方差为最小时,可以解得相关系数 r_k, b_k 。这样一来,在一个子块区域内,只要计算出一个色彩分量与另两个色彩分量之间的相关系数,就可以由该色彩分量和个相关系数近似地计算出另两个色彩分量。同理,对于一幅彩色图像,同样可以由一个色彩分

量和相关系数重构另两个色彩分量。由此对彩色图像的编码,我们只将一个色彩分量用 JPEG2000^[6] 进行编码,而另两个色彩分量的编码则是对相关系数进行编码。

JPEG2000 被认为是当今最有效图像压缩编码方法之一。但我们也很清楚,该方法是基于小波变换的编码算法,是通过大量的复杂运算以牺牲时间为代价的,尤其对彩色图像的压缩编码更是如此。本文提出的方法利用小波变换零树编码的优势,同时结合相关系数编码的方法较好地解决了这一矛盾。

彩色视觉研究^[7,8] 的结果表明,人眼对组成彩色信号的各个色彩分量的变化的感知程度是不一样的。即使在 RGB 色彩空间,人眼对不同色彩的感觉的敏感程度也不是一样的。人眼对绿色的刺激要比红色和蓝色更为敏感一些,因而突出 G 的信噪比,可能会使视觉效果更好。通过实验分析对比也证实了这一点。此外,G 与 R 和 B 之间有更好的相关性^[8],因此本文选择色彩分量 G 用 JPEG2000 编码。

2 图像的分割

假设用 A_{RG} 和 A_{BG} 来分别表示任意一个子块区域内色彩分量 A_G 与 A_R 和 A_B 的差值,有

$$A_{RG} = A_R - A_G, A_{BG} = A_B - A_G$$

令

$$\begin{cases} P_{RG} = \max(A_{RG}) - \min(A_{RG}) \\ P_{BG} = \max(A_{BG}) - \min(A_{BG}) \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} T_{RG} = \frac{1}{mn} \sum_{m=1}^m \sum_{n=1}^n [A_R(i,j) - A_{R1}(i,j)]^2 \\ T_{BG} = \frac{1}{mn} \sum_{m=1}^m \sum_{n=1}^n [A_B(i,j) - A_{B1}(i,j)]^2 \end{cases} \quad (3)$$

(2)式中 \max 和 \min 分别是求最大值与最小值函数, P_{RG} 和 P_{BG} 可用来衡量色差矩阵 A_{RG} 和 A_{BG} 中色差值的分布均匀程度,我们称它们为不平滑度。当这个不平滑度大于设定的阈值时,就认为该子块区域 A_G 与 A_R 或 A_B 的相关性小,需要对该区域进行分割。

(3)式中 i, j 和 m, n 分别为子块区域行列坐标和行列数, T_{RG} 和 T_{BG} 是原色彩分量 A_R 和 A_B 与多项式重构色彩分量 A_{R1} 和 A_{B1} 的均方差,我们称它们为不相关度,实际上它们直接决定了重构色彩分量的信噪比。当不相关度大于设定的阈值时,同样被认为该子块区域 A_G 与 A_R 或 A_B 的相关性小,需要对该区域进行分割。 A_{R1} 和 A_{B1} 的计算详见第 3 节。

这里我们引入不平滑度和不相关度两个阈值作为分割图像子块的依据,主要是基于下面的原因:计算 P_{RG} 和 P_{BG} 的算法简单速度快,当它们没有超出给定阈值时,可直接对当前子块进行相关系数计算和编码,否则再计算不相关度 T_{RG} 和 T_{BG} , 并做阈值判断,决定当前子块是否需要继续分割。因为在一个色差值整体平滑的子块区域,由于原图像中的噪声,可能导致极个别色差值突出。所以,即便一个子块区域的不平滑度超出了阈值,但它的不相关度可能较低,因而该区域仍然被认为是相关的,不需要分割成更小的子块。这样,既能提高图像分割速度,又可保证编码的合理性和质量。

$$r_0 = \frac{[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_R(i,j)] \cdot [\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_G(i,j)^2] - [\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_R(i,j) \cdot A_G(i,j)] \cdot [\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_G(i,j)]}{mm \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_G(i,j)^2 - [\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_G(i,j)]^2}$$

$$r_1 = \frac{mm \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_R(i,j) \cdot A_G(i,j) - [\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_R(i,j)] \cdot [\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_G(i,j)]}{mm \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_G(i,j)^2 - [\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_G(i,j)]^2}$$

设图像分割初始子块区域尺寸为 32×32 , 最小子块区域尺寸为 8×8 , 初始子块区域的不平滑度和不相关度阈值分别为 P_0 和 T_0 , 以分割色彩分量 R 为例, 利用二叉树分割的算法如下:

①由(2)式计算第一个初始子块的不平滑度 P_{RG}

②if $P_{RG} < P_0$ then

初始子块不需要分割,直接计算该子块区域 A_G 与 A_R 的相关系数 r_0, r_1 (详见第 3 节)

else 由(3)式计算初始子块的不相关度 T_{RG}

if $T_{RG} < T_0$ then

初始子块不需要分割,直接计算该子块区域 A_G 与 A_R 的相关系数 r_0, r_1

else

将 32×32 初始子块分割成 4 个 16×16 不重叠子块, 然后依次对这 4 个子块再作不平滑度和不相关度阈值判断, 进行子块区域的相关系数计算或继续将子块区域分割成 4 个 8×8 不重叠的更小一级的子块, 对于最小 8×8 子块处理, 不再作不相关度阈值判断和继续分割, 而是直接计算 4 个最小子块区域的相关系数。直到分割和处理完毕该 32×32 初始子块的所有次级子块。

end if

end if

③计算下一个 32×32 初始子块的不平滑度 P_{RG} , 返回②

④完成图像所有子块分割, 结束

对色彩分量 B 的分割方法相同。调整图像分割初始子块区域和最小子块区域大小及不平滑度和不相关度阈值, 可获得不同信噪比和压缩比的编码结果。

3 相关系数的计算

当(1)式为一次多项式(取 $K=1$)时, 对于每个子块, 有

$$\begin{cases} A_{R1} = r_1 A_G + r_0 \\ A_{B1} = b_2 A_G + b_0 \end{cases} \quad (4)$$

A_R 与 A_{R1} 的均方差为

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{m=1}^m \sum_{n=1}^n [A_R(i,j) - r_1 A_G(i,j) - r_0]^2 \quad (5)$$

为使均方差 MSE 为极小值, 分别对上式求 r_0, r_1 的偏导数, 并令其等于零, 有

$$\begin{cases} \frac{\partial MSE}{\partial r_0} = \frac{2}{mn} \sum_{m=1}^m \sum_{n=1}^n [A_R(i,j) - r_1 A_G(i,j) - r_0] = 0 \\ \frac{\partial MSE}{\partial r_1} = \frac{2}{mn} \sum_{m=1}^m \sum_{n=1}^n [A_R(i,j) - r_1 A_G(i,j) - r_0] \cdot A_G(i,j) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

由(6)式得到:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_R(i,j) - r_1 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_G(i,j) - mn r_0 = 0 \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_R(i,j) \cdot A_G(i,j) - r_1 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_G(i,j)^2 - r_0 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_G(i,j) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

由(7)式解得:

实验表明,采用一次多项式求得子块色彩分量之间的相关系数,并利用二叉树分割的算法,通过不平滑度和不相关度的阈值控制分割图像子块大小,能满足通常的彩色图像编码需要。这时,对子块中一个色彩分量的编码,变成只需对 2 个相关系数的编码。增加展开多项式的次数,有利于提高重构图像的信噪比,但相关系数的数量和算法复杂度也随之增加。

相关系数的计算与图像分割是同时进行的。按照上一节的方法,如果当前子块不需要分割,则直接计算该子块区域的相关系数 r_0 和 r_1 ,并分别送入一维阵列 R_0 和 R_1 中。否则,追加一个标识码 1 到 R_0 中,并将当前子块分割成 4 个大小相同不重叠次级子块,然后把这 4 个次级子块的相关系数 r_0 和 r_1 按设定的扫描顺序分别送入 R_0 和 R_1 中。如果子块被连续分割了 n 次,那么 R_0 中会出现连续 n 个为 1 的标识码,可见 R_0 中的 1 并不是相关系数,而是子块被分割的标志。当然,计算出来的相关系数 r_0 也许正好等于 1,这时用 0 来替代它们。实验表明,这个替代对编码结果影响甚微,因为 r_0 的值域区间为 $[-255, 255]$,且有时会有极其个别的值超出这个值域范围。对初始子块处理按行扫描顺序,对 4 个次级子块处理按左上、右上、左下和右下顺序,最终得到 R_0 和 R_1 顺序存放了图像所有子块的相关系数与分割标识码,解码的顺序将与此一致,以确保正确解码。获得一维阵列 B_0 和 B_1 方法与此相同。

表 1 给出了按上述方法对 Lena 图像几个指定的 32×32 子块(见图 3)处理后的不平滑度、不相关度、相关系数,及由 A_{R1} 和 A_{B1} 取代 A_R 和 A_B 产生的峰值信噪比 PSNR,这里色彩分量 A_G 没有编码。从表中的结果可以看出,不同子块区域的 PSNR 差别是明显的,这是其不平滑度和不相关度的差异造成的。

表 1 Lena 图像 4 个 32×32 子块区域的处理结果

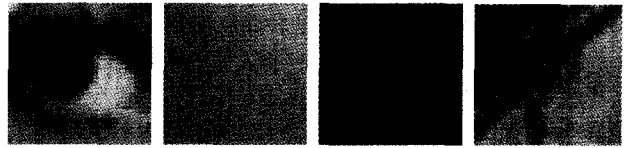
区域名称	不平滑度	不相关度	相关系数		峰值信噪比
	P_{RG}	T_{RG}	r_0	r_1	PSNR
左眼	92	311.23	101.09	0.85	23.2
脸部	73	6.691	210.25	0.177	39.876
头发	16	10.43	75.45	1.097	37.948
帽沿	61	103.53	64.094	0.927	27.98
	P_{BG}	T_{RG}	b_0	b_1	PSNR
左眼	63	72.624	35.339	0.791	29.52
脸部	42	27.55	34.182	0.705	33.73
头发	15	9.471	38.535	0.845	38.367
帽沿	91	206.1	69.81	0.57	24.99

表 2 Lena 左眼 32×32 子块的几个次级子块区域的处理结果(各次级子块的图像及尺寸见图 4)

区域名称	不平滑度	不相关度	相关系数		峰值信噪比
	P_{RG}	T_{RG}	r_0	r_1	PSNR
左眼左上	51	107.17	93.915	0.8835	27.83
左眼右上	67	289.12	87.4	1.152	23.52
图 4(c)	26	15.42	87.317	1.146	36.25
图 4(d)	40	22.682	78.029	0.845	34.574
	P_{BG}	T_{RG}	b_0	b_1	PSNR
左眼左上	57	38.29	42.392	0.593	32.3
左眼右上	45	70.369	32.678	0.86	29.657
图 4(c)	30	26.7	28.543	0.81	33.865
图 4(d)	22	12.45	31.057	0.923	37.18

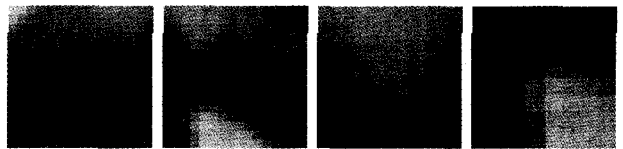
表 3 Lena 图像 4 个 32×32 子块区域的编码结果

区域名称	色彩分量 R			色彩分量 B		
	C_R	MSE	PSNR	C_B	MSE	PSNR
左眼	27.68	56.47	30.61	27.68	26.33	33.93
脸部	384	6.69	39.89	384	27.53	33.73
头发	384	10.43	37.95	384	9.47	38.37
帽沿	34	30.147	33.34	27.68	57.73	30.52



(a) 左眼 (b) 脸 (c) 头发 (d) 帽沿

图 3 Lena 彩色图像的 4 个不同 32×32 子块区域



(a) (b) (c) (d)

(a)为左眼左上 16×16 子块区域,(b)为左眼右上 16×16 子块区域,(c)为(b)中左上 8×8 子块区域,(d)为(b)中左下 8×8 子块区域。

图 4 Lena 左眼的部分子块区域

表 2 是对图 3(a) Lena 左眼的几个次级子块区域进行处理的结果。从表中看得出被分割的 Lena 左眼右上 16×16 子块区域的 PSNR 相比仍然很低,这表明 Lena 左眼的不相关度主要来自这个区域,见图 4(b)。将这个区域继续分割成 4 个 8×8 子块区域,从表中看得出相对较复杂的两个 8×8 子块区域如图 4(c,d) 的 PSNR 度迅速提高,另两个 8×8 子块区域的 PSNR 更高,这里没有列出。可见将 Lena 图像的最复杂区域之一分割到的 8×8 子块区域,其编码结果是令人满意的,因而在实验中我们对大多数图像的分割取 8×8 为最小子块。

表 3 是对 Lena 色彩图像几个子块区域色彩分量 A_R 与 A_B 编码的结果。表中 MSE 为均方差, C_R 和 C_B 为压缩比。编码过程中取阈值 $P_0=30, T_0=30$, 色彩分量 A_G 没有编码, A_R 与 A_B 由(8)式重构,具体解码方法见第 3 节。Lena 左眼 32×32 子块区域 A_R 与 A_B 都被分割成 16 个 8×8 子块区域,因而有 32 个相关系数和 5 个标识码被送入 R 和 B 中,可近似计算出它们的压缩比为 $C_R=C_B=(32 \times 32)/37 \approx 27.68$; Lena 的帽沿 32×32 子块区域的 A_R 被分割成 12 个 8×8 子块区域和 1 个 16×16 子块区域,有 26 个相关系数和 4 个标识码,它的近似压缩比为 $C_R=(32 \times 32)/30 \approx 34$,而 A_B 被分割成 16 个 8×8 子块区域,其近似压缩比为 $C_B \approx 27.68$; Lena 的脸部与头发两个 32×32 子块区域的 A_R 与 A_B 不需要分割,分别只有两个相关系数,因而它们的压缩比为 $C_R=C_B=(32 \times 32)/2=384$ 。由此可见,色彩分量之间相关性愈强,编码所得的峰值信噪比和压缩比就愈高。从表中也可以看出在同一区域、不同色彩分量之间的不相关度也可能会存在较大差异。

图 5 是对 Lena 的一个局部 128×128 图像的色彩分量 R 和 B 用该方法编码后重构的结果。这里没有对该图像进行分割,而是直接把该图像作为一个子块区域,按上述方法用一次多项式计算相关系数进行编码(色彩分量 G 没有编码)。

将重构的色彩分量与原色彩分量(见图 7(a))比较,色彩分量 R 的编码结果通常是不能接受的,而色彩分量 B 的编码结果却能满足某些编码的要求。此刻它们的压缩比为 $C_R=C_B=(128 \times 128)/2=8192$,然而色彩分量 B 的峰值信噪比 PSNR 远远大于色彩分量 R。这表明色彩分量 B 与 G 的相关性比 R 与 G 的相关性要好得多,这个例子也表明该编码方法的强大优势。



(a) 重构的色彩分量 R $PSNR=20.98, C_R=8192$
 (b) 重构的色彩分量 B $PSNR=29.65, C_B=8192$

图 5 Lena 局部 128×128 图像的色彩分量 R 和 B 编码结果

我们通过对约 50 幅图像的实验表明, r_0 与 b_0 的值 96% 以上集中在 $[-255, 255]$ 值域区间。而 r_1 与 b_1 的值域区间为 $[-7, 7]$, 且主要集中在 $[-2.5, 2.5]$ 之间。这为相关系数的熵编码提供了有利条件。对于小数据量的相关系数的编

码,由于此时相应压缩比较大,对 R_0 或 B_0 的编码首先对其按四舍五入取整数,然后采用 DC 系数霍夫曼编码方法进行编码;对 R_1 和 B_1 的编码,整数部分用 DC 系数霍夫曼编码方法,而对小数部分采用 6 位码字一致标量量化编码。

对大数据量的相关系数的编码,首先将 R_0 中的分割标识符“1”编码为“00”码字,对在 R_0 和 R_1 中的相关系数分别进行标量量化,按出现概率由大到小排序,对应的霍夫曼码按由小到大排序,另用 1 位码字放在首位表示正负符号,用此方法可使码率降低 50% 以上。相关系数编码完毕后,用 JPEG2000 对色彩分量 G 进行编码。

4 图像的解码

图像的解码首先通过 JPEG2000 的逆变换得到色彩分量 G 的重构图像,通过霍夫曼编码逆变换和反量化得到两个重构的相关系数一维阵列 R_0, R_1 和 B_0, B_1 , 然后按编码顺序从一维阵列中读取的相关系数 r_0, r_1 和 b_0, b_1 , 取重构的色彩分量 G 图像中相应子块 A_G , 并由下式重构该子块区域色彩分量 A_R 和 A_B :

$$\begin{cases} A_R = r_1 A_G + r_0 \\ A_B = b_1 A_G + b_0 \end{cases} \quad (8)$$

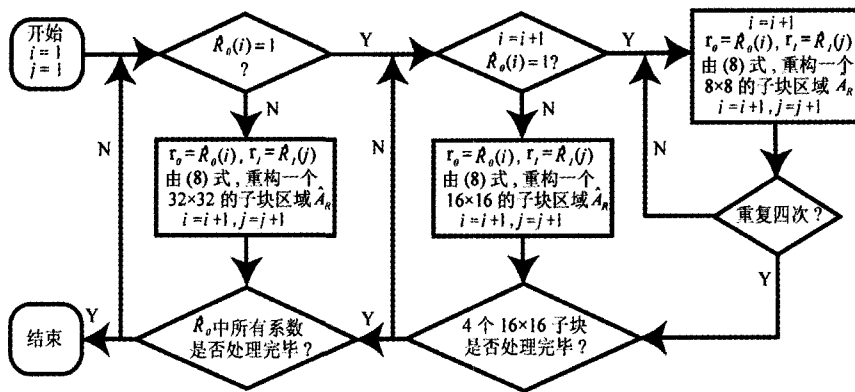


图 6 解码算法流程框图

重构所有子块的 A_R, A_B 后,便得到 R, B 色彩分量的重构图像,最终由重构的 R, G, B 图像重构彩色图。图 6 给出了重构 R 色彩分量图像的解码算法流程框图,图中 i, j 分别为 R_0, R_1 中元素的位置序号,重构的所有子块区域图像 A_R 按编码对子块区域的扫描顺序合成得到重构 R 色彩分量图像。重构 B 色彩分量图像的方法类似。

值得注意的是,在重构的 A_R, A_B 中可能会出现少量的像素值大于 255 或小于 0 的情况,这是因 A_R, A_B 是由 A_G 与相关系数混合算术运算造成的。虽然这种像素值出现概率极小且超出量也很小,但仍然是不可忽视的,否则会造成重构图像出现斑点现象。因此,我们令大于 255 的像素值为 255,小于 0 的像素值为 0。

5 实验结果分析

部分编码实验的结果见表 4, 5 和图 7, 8。表中峰值信噪比和压缩比分别由(9)式和(10)式计算,式中 $MSE(R), MSE(G), MSE(B)$ 分别为三个色彩分量的均方差, S_0 为原图像字节数, S_R, S_G, S_B 为三个色彩分量压缩后的字节数。

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{(MSE(R) + MSE(G) + MSE(B))/3} \quad (9)$$

$$C = \frac{S_0}{S_R + S_G + S_B} \quad (10)$$

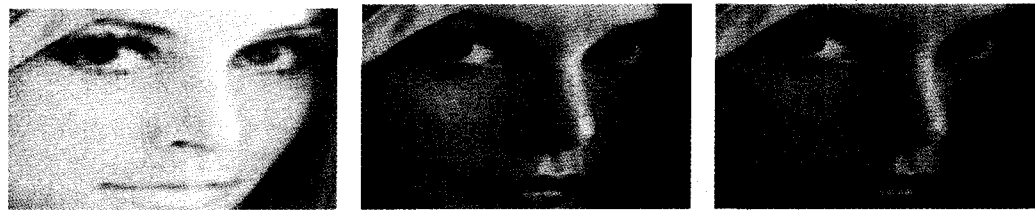
下面是实验结果的分析:

(1) 算法简单、编(解)码速度快,是本编码方法的一个主要特征。色差分析编码的算法复杂度远远低于 JPEG2000。由于本文采用的是对一个色彩分量进行 JPEG2000 编码,而对另两个色彩分量采用相关系数编码,因此在相同实验条件下,对同一幅图像编(解)码获取相近的信噪比和压缩比,所用时间与 JPEG2000 及文[1~5]的编码方法相比要节省 50% 以上, JPEG2000 的源程序参考 Jasper version 1.900.1^[9]。与作者在文[10]中提出的方法比较,编码结果的信噪比和压缩比均有较大提高,但算法复杂度有所上升。

(2) 表 4 是本方法与 JPEG2000 方法编码结果的比较,图 7, 8 是按表 4 结果重构图像的视觉效果对比,其中图 5(b)是将 JPEG2000 编码后重构的彩色图像分解成 R, G, B 三个色彩分量的效果。从结果看得出,本方法不仅信噪比和压缩比优于 JPEG2000, 重构图像的视觉效果也明显好于 JPEG2000, 且重构的图像能保留原图像中更多的细节。该编码方法的这些特性可能主要基于下面 3 个原因:其一,人眼的视觉对彩色图像的色彩发生轻微的块效应并不敏感,而对图像的全图或局部出现扭曲变形(如振铃效应)等失真则特别敏

感,本编码方法造成图像失真的主要原因是轻微的块状色彩偏差;其二,因为我们突出了G的信噪比,造成图像扭曲变形、振铃效应较小,且被另两个色彩分量所掩盖,而人眼对G色又最为敏感^[7,8],G的信噪比特别高出,对整幅图像的视觉效果有拉升作用;此外,现有显示系统都是基于RGB 3原色

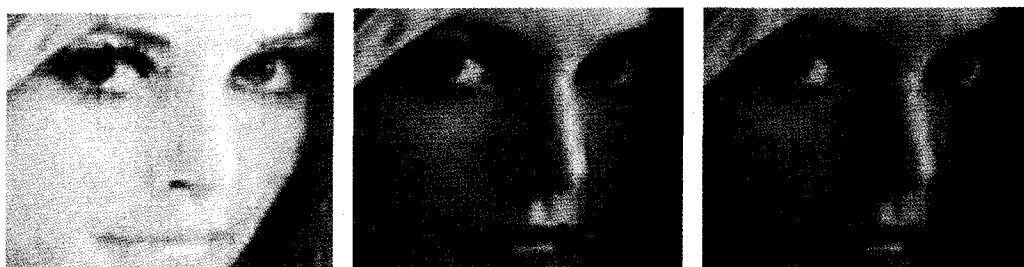
扫描成像原理,转换成YUV等其它色彩空间进行编码,使得3个色彩分量对一个幅图像所具有的共同纹理、边缘和灰度变化梯度的统一性被改变,从而削弱了色彩分量之间的相关性,制约了信噪比的进一步提高,并且造成了信噪比不能确切反映图像的视觉效果。



(a) 从左自右分别是原图像 R、G 和 B 色彩分量

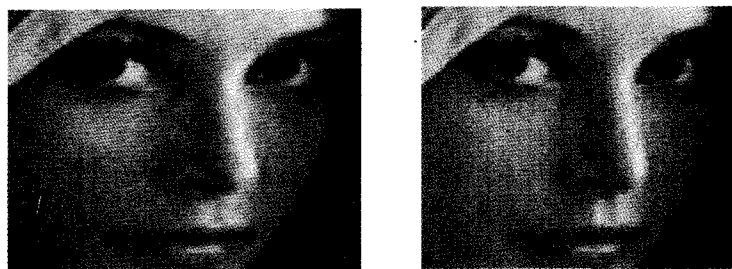


(b) JPEG2000 方法重构的 3 色彩分量(从左自右分别为 R、G 和 B 色彩分量)



(c) 本方法重构的 3 色彩分量(从左自右分别为 R、G 和 B 色彩分量)

图 7 用本方法与 JPEG2000 方法重构 3 个色彩分量的视觉效果比较



(a) JPEG2000 方法 $PSNR = 29.97, C = 40$

(b) 本方法 $PSNR = 31.38, C = 41.97$

图 8 本方法与 JPEG2000 方法重构的彩色图像及编码结果比较



(a) $PSNR=31.18, C_R=71.86$

(b) $PSNR=31.273, C_R=71.86$

(a) 为重构的 R 色彩分量, (b) 为对(a)去块效应后的结果。

图 9 对重构图像去块效应的结果

(3)用相关系数重构的色彩分量 \hat{A}_R, \hat{A}_B 不可避免存在轻度的块效应现象。然而有趣的是,重构的彩色图像其块效应明显较少,这是因为 \hat{A}_R 和 \hat{A}_B 的失真主要来自轻微的块效应,而 \hat{A}_G 的失真主要来自振铃效应^[11](云彩效应),两种效应产生的失真并不是发生在图像的同一个区域。当合成彩色图像时,它们相互叠加的结果使各自存在的缺陷得到弥补,两种效应现象明显消失,使得彩色图像的视觉效果大为改善。对块效应的消除,现在有许多成熟的方法,可以作为辅助手段。如图 9 是用一个 3×3 Gauss 滤波器,对重构的色彩分量 R 去块效应后的结果比较。通常块效应后图像视觉效果得到改善,信噪比会略有提升或降低。

表4 本方法与 JPEG2000 方法对 Lena 局部 128×128 色彩图像编码结果比较

编码方法	色彩分量	编码后字节数	色彩分量			彩色图像		
			PSNR	MSE	C	PSNR	MSE	C
本方法	R	228	31.18	49.5	71.86	31.38	47.29	41.97
	G	820	32.41	37.32	20			
	B	123	30.72	55.05	133.2			
JPEG2000方法	R	410	30.1	63.58	40	29.97	65.43	40
	G	410	30.77	54.48	40			
	B	410	29.19	78.22	40			

本方法对大图像或要求中低信噪比的编码更具有优势,

如表5(表中 Si、Se 分别为初始子块与最小子块大小, P1、P2、P3 为各级子块对应的不相关度阈值)的编码结果明显优于 JPEG2000 及文[1,2,4,5]的编码结果。在对要求特高信噪比的图像编码时,这种优势减弱。

结论 本文充分挖掘和利用彩色图像 RGB 色彩空间和相位的相似性,提出相关系数与 JPEG2000 相结合的编码相结合的方法,既能获得较满意的编码结果,又能提高编(解)码的速度。该方法尤其适合需求中低信噪比场合的彩色图像的编码,对小尺寸、纹理复杂的彩色图像的编码也有明显的优势。如何进一步规范或自适应选择阈值参数,实现出色差分析与其它编码方法的最佳配合,有待进一步研究。

表5 用本文方法对几个典型彩色图像的编码结果

图像名称及尺寸	参数设定	色彩分量	编码后字节数	色彩分量		彩色图像	
				PSNR	C	PSNR	C
Lena 512×512	Si=64×64, Se=8×8 P1=30, P2=40, P3=60 T1=40, T2=70, T3=100	R	1407	30.53	186.31	30.217	115.68
		G	4096	30.57	64		
		B	1295	29.62	202.73		
Lena 512×512	Si=64×64, Se=8×8 P1=20, P2=30, P3=50 T1=30, T2=60, T3=90	R	1470	31.95	178.33	31.92	70.26
		G	8192	33.28	32		
		B	1531	30.86	171.22		
Pepper 512×512	Si=64×64, Se=8×8 P1=20, P2=30, P3=50 T1=30, T2=60, T3=90	R	2609	28.19	100.47	29.59	61.44
		G	8192	32.65	32		
		B	1998	29.065	131.2		
Barbara 512×512	Si=64×64, Se=8×8 P1=20, P2=30, P3=50 T1=30, T2=60, T3=90	R	3840	27.22	69.27	28.088	32.87
		G	16384	30.49	16		
		B	3719	27.29	70.49		

参考文献

- Nadenau M J, Reichel J, Kunt M. Wavelet-based Color Image Compression: Exploiting the Contrast Sensitivity Function [J]. IEEE Transactions Onimage Processing, 2003, 12(1): 58~70
- Brahimi Z, Saadi K A. Color image coding basedon embedded wavelet zerotree and scalar quantization [J]. Pattern Recognition. In: ICPR 2004. Proceedings of the 17th International Conference on Volume 1, Aug. 2004. 504~507
- Delp E J, Ke Shen. Color Images Compression Using an Embedded Rate Scalable Approach [C]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing(III), 1997. 32~34
- Qiu Guoping. Embedded colour image coding for contentbased retrieval [J]. J Vis Commun Image R, 2004, 15: 507~521
- Martin K, Lukac R, Plataniotis K N. Efficient encryption of wavelet-based coded color images [J]. Pattern Recognition, 2005, 38 : 111~1115
- Skodras A, Christopoulos C, Ebrahimi T. The JPEG2000 still image compression standard [J]. Signal Processing Magazine, IEEE, 2001, 18(5): 36~58
- Hunt R W G. Measuring Color [M]. 2nd edition. 1cm plus 0.5cm minus 0.4cm. New York: Ellis Horwood, 1991
- Van Dyck R E, Rajala S A. Sensitivity to Color Error Introduced by Processing in Different color spaces [J]. Proc, IEEE VSPP, 1991. 192~195
- Sakatnoto T, Nakanish C, Hase T. Software pixels interpolation for digitalstill cameras suitable for a 32-bit MCU[J]. IEEE Trans Consumer Electron, 1998, 44(4): 1342~1351
- Genossar T, Porat M. Optimal Bi-Orthonormal Approximation of Signal. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, 1992, SMC-22(3): 449~460
- 陈宇拓, 余英林. 利用色彩分量相关性的彩色图像压缩编码[J]. 中国图像图形学报, 2001, 6A(2): 123~128
- Shapiro J M. Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41(12): 3445~3462

(上接第 177 页)

- Atanassov K. New Operations Defined over the Intuitionistic Fuzzy Sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1994, 61(1): 137~142
- Atanassov K. Remarks on the Intuitionistic Fuzzy Sets-III[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1995, 75(3): 401~402
- 雷英杰, 赵 晔, 王 涛. 直觉模糊语义匹配的相似性度量[J]. 空军工程大学学报, 2005, 6(2): 83~86
- 雷英杰, 王 涛, 赵 晔. 直觉模糊匹配的语义距离与贴近度[J]. 空军工程大学学报, 2005, 6(1): 69~72
- 雷英杰, 王宝树. 直觉模糊逻辑的语义算子研究[J]. 计算机科学, 2004, 31 (11): 4~6
- 雷英杰, 孙金萍, 王宝树. 模糊知识处理与模糊集理论的若干拓展 [J]. 空军工程大学学报, 2004, 5(3): 40~44
- 张江, 林华, 贺仲雄. 统一集论与人工智能[J]. 中国工程科学, 2002, 4 (3): 40~47